

Rozdział VIII

ŻYWIENIE CZŁOWIEKA W PRAKTYCE PROMOCJI I OCHRONY ZDROWIA (CZĘŚĆ I)

1. WPROWADZENIE

Człowiek, podobnie jak wszystkie organizmy heterotroficzne, pobiera tlen z powietrza, a z wodą i pożywieniem liczne związki chemiczne, wykorzystywane jako substrat energetyczny i materiał budulcowy niezbędny dla utrzymania przemiany materii, a wobec tego wszystkich funkcji organizmu.

Przyjmowanie pokarmu i wykorzystanie metaboliczne jego składników są, jak wszystkie procesy życiowe, genetycznie uwarunkowane.

Składniki odżywcze przyswojone z produktów żywnościowych należą do tych samych grup związków chemicznych, jakie występują w komórkach organizmu człowieka. W przemianie materii odgrywają one rolę składników energetycznych (węglowodany, tłuszcze i białka) oraz składników budulcowych (składniki odżywcze z wszystkich grup – tab. 1).

Wszystkie **procesy życiowe** odbywają się **dzięki energii uzyskiwanej przy metabolicznym „spalaniu” węglowodanów, tłuszczu i białek**; wymienione składniki pokarmowe, a także niezbędne dla człowieka witaminy i składniki mineralne są **materiałem budulcowym elementów strukturalnych, składnikami płynów ustrojowych i substancji regulujących przemianę materii**.

Na pożywienie pierwotnego człowieka składały się empirycznie dobrane części organizmów zwierzęcych i roślinnych określane jako produkty spożywcze pochodzenia naturalnego. Obecnie żywność naturalną uzupełniają produkty przetworzone za pomocą różnych procesów technologicznych, dając zestaw artykułów (produktów żywnościowych) współcześnie stosowanych w żywieniu ludności.

Produkty spożywcze są zbudowane z różnych **substancji chemicznych** (składników pokarmowych); przeważająca ich ilość (powyżej 90% masy produktu) ulega w przewodzie pokarmowym człowieka strawieniu do **składników odżywczych**, wchłanianych przez nabłonek przewodu pokarmowego do naczyń krwionośnych lub limfatycznych. Składniki odżywcze są przetwarzane w procesach metabolicznych ludzkiego organizmu.

Tabela 1

Składniki odżywcze

Składniki pokarmowe	Składniki odżywcze
Białka	Endogenne i egzogenne
Tłuszcze	Kwasy tłuszczowe: nasycone, jednonienasycone, wielonienasycone; Steroidy: cholesterol
Węglowodany	Jednocukry, dwucukry, wielocukry
Składniki mineralne	Makroskładniki: wapń, fosfor, magnez, sód, potas Mikroskładniki: żelazo, cynk, miedź, mangan, selen, jod, molibden, chrom, fluor
Witaminy	Rozpuszczalne w tłuszczach: wit. A, wit. D, wit. E, wit. K Rozpuszczalne w wodzie: wit. C, wit. B ₁ , wit. B ₂ , wit. B ₆ , wit. B ₁₂ , foliany, niacyna, biotyna, kwas pantotenowy

W naturalnych produktach spożywczych, szczególnie pochodzenia roślinnego, występują również **składniki nieodżywcze**, które nie podlegają trawieniu w przewodzie pokarmowym i nie są użytkowane jako substrat w procesach metabolicznych. Ich działanie na organizm może być często korzystne: spełniają funkcję wypełniacza przewodu pokarmowego (włókno pokarmowe, elastyna), pobudzają apetyt i wydzielanie fermentów trawiennych (substancje barwne, smakowe i zapachowe), mogą działać korzystnie na procesy zachodzące w przewodzie pokarmowym oraz ogólnie ochronnie, na przykład jako antyoksydanty. Są wśród nich jednak także związki, które spożyte w większej ilości mogą działać niekorzystnie (np. antywitaminy). Zgodnie z nabytym doświadczeniem ludzie spożywają w ciągu dnia różne produkty roślinne i zwierzęce, zawierające małe ilości zróżnicowanych składników nieodżywczych, które nie wywołują w tym wypadku widocznego niepożądanego działania.

Artykuły spożywcze mogą ulegać zanieczyszczeniu przez zewnątrzpochodne substancje chemiczne i drobnoustroje, co stwarza dla człowieka niebezpieczeństwo spowodowania zakażenia pokarmowego lub rzadziej, pokarmowego zatrucia.

2. OBSERWACJE WPŁYWU ŻYWIENIA NA ZDROWIE A WSPÓŁCZESNE CELE RACJONALNEGO ŻYWIENIA

Atmosfera ziemską zapewnia człowiekowi pełne pokrycie potrzeb metabolicznych na tlen. O wodę i pożywienie ludzie muszą się starać. Człowiek pierwotny zdobywał jedzenie; fakt ten był istotnym czynnikiem stymulującym rozwój umysłowy i postęp w zakresie sporządzania narzędzi, które ułatwiały pozyskiwanie pożywienia, jego przygotowanie do spożycia, a także jego przechowywanie.

W czasach starożytnych mieszkańcy krajów śródziemnomorskich znali sztukę uprawy roli, hodowlę bydła i dysponowali stosunkowo dużą liczbą produktów spożywczych, a także przypraw, dostarczanych częściowo z krajów wschodnich. W zachowanych pismach starożytnej Grecji znajdują się opisy posiłków i potraw codziennego życia, a także wystawnych przyjęć. Przedstawiano również obserwacje o znaczeniu zdrowotnym niektórych pokarmów. Odnotowano na przykład, że mleko kobyce jest najbardziej właściwym pokarmem w żywieniu niemowląt, opisano lecznicze działanie

wątroby w przypadkach niedowidzenia o zmierzchu (nyctalopia, zaburzona wzrokowa adaptacja do ciemności), a Hipokrates wskazywał na potrzebę stosunkowo większej ilości pokarmu w okresie wzrastania niż w przypadku dorosłego człowieka. Duże znaczenie przypisywano składowi pożywienia podawanego chorym, a Celsus na podstawie ówczesnych obserwacji stwierdził, że *optimum remedium est cibus opportune datus* – najlepszym lekiem jest dobrze dobrany pokarm.

W informacjach o wojsku rzymskim (I wiek po Chrystusie) znalazły się dane o ilościach produktów, jakie przewidywano na dobę dla żołnierzy w okresie marszów i walk oraz w okresie obozowania. Opisano także wyposażenie oddziałów w urządzenia umożliwiające ogrzewanie potraw.

Zapisy, które podają szczegółowe ilości produktów w dobowej racji żołnierskiej, zachowały się również z okresu średniowiecza. Pozwalają one określić retrospektywnie z dobrym przybliżeniem ilości składników pokarmowych spożywanych w całodziennych posiłkach żołnierzy opisywanych oddziałów wojskowych i wskazują na pokrycie potrzeb energetycznych w ilościach odpowiadających współcześnie określonymu zapotrzebowaniu.

Początki nauki o związku między odżywianiem się a przemianami chemicznymi w żywych organizmach, połączonych ze zużyciem tlenu i wytwarzaniem dwutlenku węgla, przypadają na koniec XVIII wieku oraz na wiek XIX. Rozwój nauk chemicznych oraz równocześnie fizjologii i patologii dostarczały dokumentacji o zależności procesów życiowych od składników pożywienia, określanych jakościowo i ilościowo za pomocą analizy chemicznej. Pod koniec XIX wieku znana już była ilość białek, węglowodanów i tłuszczu występująca w podstawowych produktach spożywczych. Przeprowadzano też pierwsze obserwacje ilości poszczególnych produktów w dobowym pożywieniu różnych grup ludności.

Okresy braku żywności były jedną z klęsk znaną od czasów starożytnych. Występowały one na skutek nieurodzaju albo po zniszczeniach wojennych. Obserwowano po nich epidemie chorób i zwiększoną częstość zgonów. Braki żywności pojawiły się również w XIX wieku wśród wzrastającej liczby ubogich mieszkańców miast w okresie rozwoju przemysłu. W warunkach niedostatku pokarmu, poza pogorszeniem stanu zdrowia ludności, zaobserwowano także wolniejsze wzrastanie dzieci.

W pierwszych dziesiętkach XX wieku zidentyfikowano witaminy oraz choroby spowodowane ich niedoborami, a także niedobory składników mineralnych; w latach 30. ubiegłego stulecia opisano choroby z niedoborów energetyczno-białkowych, występujące masowo w krajach Trzeciego Świata. Druga wojna światowa spowodowała, że niedobory pokarmowe, zwłaszcza energetyczno-białkowe pojawiły się też na kontynencie europejskim; rejestrowane dane demograficzne potwierdziły, że niedoborom pokarmowym towarzyszy zwiększona zapadalność na choroby zakaźne i wysoka umieralność ludności, szczególnie nasilona w grupach niemowląt i dzieci. Te spostrzeżenia wpłynęły na podejmowanie lekarskich badań sposobu odżywiania określonych grup ludności równoległe z oceną stanu zdrowia badanej populacji.

Próby określenia bezpiecznej ilości składników odżywczych w pożywieniu na poziomie zapobiegającym niedoborom pokarmowym podjęła w latach 1935–1936 Komisja Fizjologów z Wielkiej Brytanii, a uzupełniła i rozpowszechniała Komisja Zdrowia ówczesnej Ligi Narodów. Na podstawie tych zaleceń i własnych badań sposobu odży-

wiania ludności opracowano w Wielkiej Brytanii zasady żywienia ludności w czasie II wojny światowej. Opierały się one na systemie kartkowego zakupu dobrze zbilansowanego zestawu produktów spożywczych. Stan zdrowotny ludności Wielkiej Brytanii, odżywiającej się według kartkowych proporcji artykułów spożywczych, wykazał korzystniejsze niż przed wojną wskaźniki zdrowotne w zakresie tempa rozwoju dzieci oraz przeżywalności ludzi starszych.

Obserwacje towarzystw ubezpieczeniowych Stanów Zjednoczonych wskazywały, że wyższe współczynniki zgonów ludzi po 50. roku życia dotyczą zarówno osób nie-
dożywionych, jak i ludzi z zawyżoną masą ciała w stosunku do wysokości.

Długoletnie badania grup ludności z wybranych miejscowości oraz przekrojowe badania międzynarodowe pozwoliły na zaobserwowanie asocjacji między charakterem produktów spożywczych w dobowych racjach pokarmowych i ilościowymi proporcjami poszczególnych składników odżywczych a częstością występowania określonych zaburzeń metabolicznych. Zaburzenia te wywołują typowe zmiany patologiczne szczególnie wówczas, gdy są skojarzone z osobniczymi genetycznymi uwarunkowaniami.

Przeważająca liczba mieszkańców w krajach rozwiniętych ma swobodny dostęp do urozmaiconego rynku artykułów żywnościowych oraz możliwość jedzenia do osiągnięcia pełnej sytości. Zapobieganie otyłości wymaga świadomego współdziałania ludności przy dokonywaniu wyboru produktów i potraw tak, by doznanie sytości pokrywało się z właściwym pokryciem potrzeb energetycznych i budulcowych organizmu.

Pożywienie jest dla człowieka złożonym czynnikiem środowiskowym, niezbędnym dla utrzymania życia. Współczesna wiedza o żywieniu człowieka opiera się na naukach z zakresu biologii molekularnej, biochemii, fizjologii, fizjopatologii, a u ludzi chorych także na wiedzy o etiologii i patogenezie procesów chorobowych. W omawianiu zagadnień żywieniowych korzystamy ze zdobyczy i postępu podanych dziedzin badań dla określenia związku między składem chemicznym pożywienia i strukturą racji pokarmowych a stanem zdrowia. W praktyce odżywiania odgrywają także rolę czynniki społeczne, ekonomiczne oraz rodzinne nawyki i zwyczaje żywieniowe. Naukę o żywieniu człowieka można więc rozpatrywać na poziomie zjawisk molekularnych, komórkowych, indywidualnych organizmów oraz grup ludności; zalicza się ją też do przedmiotów interdyscyplinarnych.

Ze względu na wpływ żywienia na stan zdrowia – zagadnienia te są integralnym elementem nauk medycznych.

Rozwój wiedzy o uwarunkowaniach i przebiegu procesów metabolicznych żywych organizmów, w tym też człowieka, pozwala na coraz lepsze poznanie potrzeb w zakresie żywienia oraz na opracowanie wskazań dotyczących sposobu odżywiania się w kolejnych okresach życia. Celem wskazań jest zachowanie dobrego stanu zdrowia jednostek i całych grup ludności. Istotnymi miernikami powodzenia w tym zakresie są:

- 1) prawidłowy rozwój młodych organizmów;
- 2) pełna zdolność przystosowywania się do zmieniających się warunków środowiska zewnętrznego;
- 3) efektywność procesów odpornościowych organizmów na działanie niekorzystnych i szkodliwych czynników środowiska;
- 4) ochrona przed zaburzeniami metabolicznymi, powodującymi rozwój procesów chorobowych;

- 5) wydłużenie wieku przeżycia ludności przy zachowaniu wysokiej osobniczej sprawności fizycznej i umysłowej osób starszych.

Niewłaściwe odżywianie jest istotnym czynnikiem w patogenezie procesów chorobowych, przyczynowo związanych z niedoborami lub też nadmiarami pokarmowymi. Nadmiary pokarmowe i niewłaściwe proporcje składników odżywczych są częstą przyczyną zmian metabolicznych, które są podłożem rozwoju pochodnych schorzeń i wpływają na częstość zgonów również w krajach Europy. Należą do nich: otyłość, miażdżycy z jej następstwami, choroba nadciśnieniowa, cukrzyca typu 2-go, niektóre nowotwory, osteoporoza, próchnica zębowa, a także niedokrwistość żywieniowa z niedoboru żelaza. Również zanieczyszczenia produktów spożywczych, szczególnie mikrobiologiczne mogą być przyczyną masowych zachorowań.

3. PRZEMIANY I ZAPOTRZEBOWANIE ENERGETYCZNE CZŁOWIEKA

3.1. Przemiana materii (metabolizm)

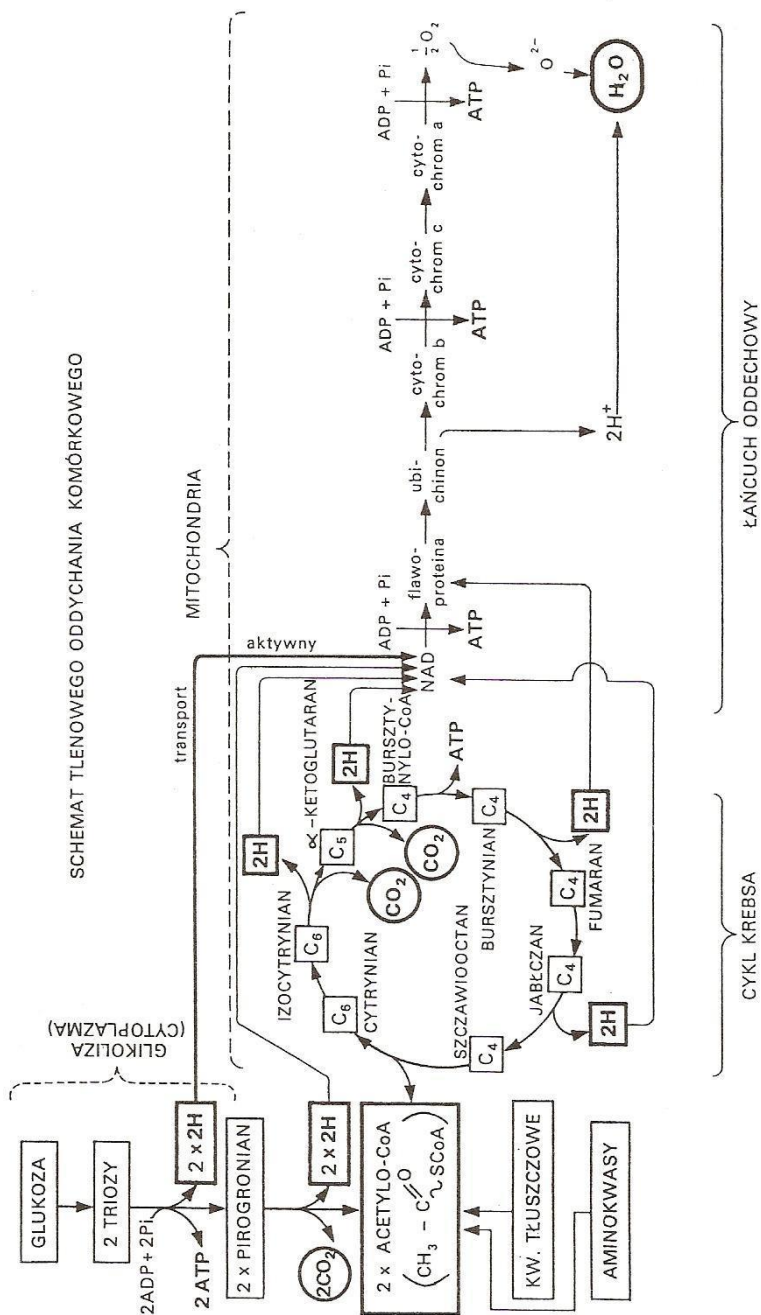
Przemiana materii organizmu ludzkiego zachodzi w każdej komórce narządów i tkanek zgodnie z programem genetycznym jądra komórkowego i planowymi funkcjami elementów strukturalnych komórki. W organizmach heterotroficznych źródłem substancji chemicznych podlegających przemianom jest pożywienie. Z jego składników pochodzi materiał do budowy i odbudowy tkanek oraz substancji regulujących procesy metaboliczne, a także, uzupełniony przez tlen powietrza, chemiczny substrat przemian energetycznych. Na przemianę materii składają się:

- **endoergiczne procesy syntez chemicznych** składników budulcowych niezbędnych dla budowy struktur komórkowych, namnażania komórek oraz wymiany elementów komórkowych; są to **procesy anaboliczne** organizmu, wymagające dopływu energii i chemicznych materiałów budulcowych;
- **egzoergiczne procesy degradacji i spalań** chemicznych składników elementów komórkowych oraz materiału chemicznego dochodzącego do komórki z krwią lub limfą, a pobieranego przez organizm z pożywieniem ze środowiska pozaustrojowego; składają się one na **procesy kataboliczne**. W ich przebiegu wytwarza się energia biologicznie użyteczna niezbędna w procesach syntez oraz energia cieplna, która umożliwia utrzymanie stałej temperatury ciała w zmiennych termicznych warunkach środowiska zewnętrznego człowieka.

3.2. Procesy kataboliczne organizmu człowieka

Podstawowym substratem komórkowych przemian katabolicznych jest glukoza. Jako źródło energii w katabolicznych procesach komórki mogą służyć również kwasy tłuszczowe i glicerol oraz w małym stopniu aminokwasy. Przemiany oddychania wewnętrznego zachodzące w cytoplaźmie i mitochondrium komórki przedstawione są na poniższym schemacie 1.

Schemat 1



Zachodzące w komórkach procesy kataboliczne podlegają kontroli hormonalnej i regulacji enzymatycznej. Ilość uzyskanej energii biologicznie użytecznej podczas całkowitego utlenienia glukozy do dwutlenku węgla i wody wynosi 36 ATP, natomiast w przypadku glikolizy mleczanowej 2 ATP. Ilość uzyskanej energii związanej z beta-oksydacją kwasów tłuszczowych jest wyższa i zależy od długości łańcucha węglowego, na przykład podczas utlenienia kwasu palmitynowego uzyskuje się 131 ATP. W wiązaniach wysokoenergetycznych ATP zawarte jest tylko około 40% energii uwalniającej się podczas utleniania biologicznego substratu organicznego, a pozostała część (około 60%) ulega rozproszeniu jako energia cieplna.

Bardziej skomplikowane są procesy metaboliczne w przypadku białek. Białka komórkowe są degradowane do aminokwasów przez systemy enzymatyczne cytosolu i lizosomów; znaczna ich część (do 80%) podlega w tych samych komórkach resyntezie. Pozostałe aminokwasy, jak również część aminokwasów dochodzących do komórek z krwią ulega dezaminacji, a „szkielety węglowe” aminokwasów po dalszych przemianach (specyficznych dla różnych aminokwasów i różnych tkanek) dochodzą do postaci kwasów wchodzących w przemiany cyklu kwasu cytrynowego.

- W czynnościach organizmu człowieka ogólnym celem przemian energetycznych jest
- utrzymanie zjawisk życiowych organizmu,
 - termogeneza,
 - umożliwienie aktywności fizycznej.

3.3. Pokarmowe źródła energii i ich równoważniki energetyczne

Zewnątrzustrojowym wyrazem komórkowych przemian energetycznych jest oddychanie zewnętrzne (pobieranie tlenu i wydalenie dwutlenku węgla), a także wydalenie w moczu niektórych produktów przemiany białek.

Intensywność przemian energetycznych organizmu określa się za pomocą jednostek energii. Stosuje się przy tym tradycyjną jednostkę energii cieplnej, jaką jest kaloria, a raczej jej wielokrotność, tj. kilokaloria (kcal). Z wprowadzeniem międzynarodowego systemu SI (*System International*) jednostek w fizyce, przyjęto dla energii jednostkę Joule (dżul) i jego wielokrotności kilojoule (kJ) oraz megajoule (MJ); równoważną ilością energii dla obu jednostek są: $1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$ oraz $1 \text{ kJ} = 0,239 \text{ kcal}$.

Energia uzyskiwana w organizmie człowieka w procesie spalań komórkowych pochodzi z przemiany chemicznych składników pokarmowych z grupy węglowodanów, tłuszczu i białek. Niewielkie ilości energii uzyskuje się również z pośrednich produktów ich przemiany, występujących w spożywanych produktach, jak alkohole oraz kwasy organiczne.

Wartość energetyczną procesów spalań poszczególnych składników pożywienia można określić doświadczalnie poprzez spalanie w bombie kalorymetrycznej; uzyskuje się przy tym wartości fizycznych równoważników energetycznych (*gross energy*). Są one zależne od stopnia utlenienia podstawowych elementów cząsteczek chemicznego składnika pożywienia.

W organizmie człowieka występują pewne straty ilościowe składników pożywienia, związane ze stratami z przewodu pokarmowego oraz w wyniku wydalania produktów

niepełnego spalania aminokwasów z moczem. Ilość energii uzyskiwana ostatecznie w procesach przemian w organizmie określana jest jako energia przemiana (metabolizalna) (*metabolizable energy*), a uzyskiwane ilości energii na wagową jednostkę substratu nazywamy biologicznymi równoważnikami energetycznymi (tab. 2).

Tabela 2

Wykorzystanie składników pożywienia – równoważniki energetyczne kcal/g (kJ/g)

	Energia brutto	Energia przyswajalna	Energia przemiana
Równoważniki	fizyczne	biologiczne	standardowe (Atwater'a)
Cukrowce	4,1 (17,2)	4,1 (17,2)	4 (17)
Tłuszcze	9,3 (38,9)	9,3 (38,9)	9 (38)
Białka	5,4 (22,6)	4,1 (17,2)	4 (17)
Etanol	7,1 (29,7)	7,1 (29,7)	7 (29)

Podstawowa i ogólna przemiana materii – metodyka pomiarów

Pomiar intensywności przemian energetycznych opiera się na:

- ocenie ilości wytwarzanej w organizmie i **oddawanej do otoczenia** energii cieplnej (kalorymetria bezpośrednia);
- ocenie ilości **pobranego** przez organizm **tlenu** i **wydalonego dwutlenku węgla** (kalorymetria pośrednia);
- monitorowaniu częstości tętna, którego zwiększenie łączy się ze zwiększonym zużyciem tlenu; metoda stosowana chętnie w badaniach dzieci pozostających w środowisku domowym;
- ocenie różnicy tempa zaniku izotopów ^2H i $^{18}\text{O}_2$ z organizmu badanego po podaniu wody podwójnie znakowanej trwałymi izotopami wodoru i tlenu i wyliczenia na tej podstawie ilości zużytego tlenu i wydalonego dwutlenku węgla (metoda podwójnie znakowanej wody).

Podstawowa przemiana materii

Najniższy poziom przemian energetycznych, wytwarzających niezbędną ilość energii dla zachowania podstawowych funkcji życiowych organizmu w warunkach higienicznego komfortu środowiska określany jest jako **podstawowa przemiana materii (PPM)** – *Basal Metabolic Rate* (BMR). Pomiar PPM należy w praktyce przeprowadzać u człowieka pozostającego w pełnym spoczynku (pozycja leżąca), wcześniej rano, co najmniej 12–18 godzin po spożyciu posiłku, w optymalnych warunkach środowiska termicznego oraz spokoju psychicznego. Ponieważ zachowanie szczególnie ostatniego warunku jest trudne, bardziej właściwym terminem, określającym poziom przemiany materii zgodny z warunkami pomiaru, jest **spoczynkowa przemiana materii** (*Resting Metabolic Rate* – RMR) lub **spoczynkowy wydatek energetyczny** (*Resting Energy Expenditure* – REE). Używany poniżej skrót PPM odpowiada raczej doświadczalnej wartości REE. Pomiary przemiany materii przeprowadza się przez czas dobrany zależnie od stosowanej metody. Wyniki podaje się ostatecznie w ilości energii wytwarzanej w jednostce czasu, a uzyskaną wartość przelicza się na 1 dobę.

W badaniach doświadczalnych, przy oznaczaniu pobierania i wykorzystania tlenu przez niektóre narządy człowieka w warunkach przemiany spoczynkowej, stwierdzono szczególnie duże zużycie tlenu przez wewnętrzne narządy w stosunku do ich masy, a więc ich dużą aktywność metaboliczną (wątroba, mózg, nerka). U prawidłowo zbudowanych ludzi dorosłych w tym samym wieku podstawowa przemiana materii jest proporcjonalna do ciężaru ciała; występuje również zależność od wieku, płci i budowy ciała; najwyraźniejsza okazała się zależność od masy aktywnych tkanek, którą wyraża się wzorem: **masa ciała w kg do potęgi 0,75**. Jest ona bardzo bliska wartości **beztłuszczowej masy ciała** (*lean body mass*).

W okresie niemowlęcym i całego dzieciństwa PPM wyrażona na kg masy ciała jest znacznie wyższa niż u dorosłego człowieka. Jest to następstwem wyższego stosunku masy narządów o wysokiej aktywności przemian do ogólnej masy ciała dziecka oraz wyższej komponenty procesów syntez towarzyszących procesowi wzrastania.

Dla praktyki szacowania wysokości PPM opracowano wzory regresji, które pozwalają na ocenę wysokości spoczynkowej przemiany materii dla osób należących do różnych grup wieku i płci na podstawie wartości wysokości i masy ciała (Harris i Benedict, 1918; Schofield i in., 1985), oraz na podstawie tylko masy ciała (WHO/FAO/UNU 1985) (tab. 3). Wynik końcowy wyliczenia PPM w zależności od wzoru podaje końcową wartość w kcal lub MJ.

Tabela 3

Szacowanie wysokości podstawowej przemiany materii na podstawie masy ciała

Płeć	Wiek (lata)	Równanie dla szacowania spoczynkowej przemiany materii	
		w kg/dobę	w MJ/ dobę
męska	0–3	$(60,9 \times MC) - 54$	$(0,249 \times MC) - 0,127$
	3–10	$(22,7 \times MC) + 495$	$(0,095 \times MC) + 2,110$
	10–18	$(17,5 \times MC) + 651$	$(0,074 \times MC) + 2,754$
	18–30	$(15,3 \times MC) + 679$	$(0,063 \times MC) + 2,754$
	30–60	$(11,6 \times MC) + 879$	$(0,049 \times MC) + 3,653$
	60 i powyżej	$(13,5 \times MC) + 487$	$(0,049 \times MC) + 2,459$
żeńska	0–3	$(61,0 \times MC) - 51$	$(0,244 \times MC) - 0,130$
	3–10	$(22,5 \times MC) + 499$	$(0,085 \times MC) + 2,033$
	10–18	$(12,2 \times MC) + 746$	$(0,056 \times MC) + 2,898$
	18–30	$(14,7 \times MC) + 496$	$(0,062 \times MC) + 2,036$
	30–60	$(8,7 \times MC) + 829$	$(0,034 \times MC) + 3,538$
	60 i powyżej	$(10,5 \times MC) + 596$	$(0,038 \times MC) + 2,755$

Według WHO (1985).

Szacowanie PPM jest użyteczne w ocenie średniej wartości PPM w grupie osób (tej samej płci i w zbliżonym wieku) oraz w dalszej ocenie średniego dobowego zapotrzebowania energetycznego grup ludności. Ma ono zastosowanie także przy opracowaniu zaleceń żywienia dla pojedynczych osób (również w praktyce klinicznej) jako wartość wyjściowa przy szacowaniu całodobowego zapotrzebowania energetycznego.

Podstawowa przemiana materii może u tej samej osoby ulegać zmianom na skutek działania niektórych czynników w ciągu dłuższego okresu. Tendencja do wyższych wydatków energetycznych, związanych ze spoczynkową przemianą materii, nosi nazwę **termogenezy adaptacyjnej**. Występuje ona:

- a) u osób wykonujących przez dłuższy okres czasu pracę fizyczną (w porównaniu z okresem siedzącego trybu życia);
- b) po dłuższym pobycie w warunkach chłodu (około 5 dni w 5°C); podobny efekt mogą wywoływać czynniki stresogenne;
- c) po wprowadzeniu do organizmu niektórych związków hormonalnych jak adrenalina i tyroksyna oraz pobudzających jak kofeina i pochodne benzydryny; ten sam efekt daje palenie papierosów, które może podnosić PPM nawet o 20%;
- d) w czasie procesów chorobowych: w chorobach gorączkowych (na temperaturę ciała wyższą o każdy stopień Celsjusza, wzrost PPM o 10–14%), znaczny wzrost PPM także po urazach, złamaniach i oparzeniach.

W okresach niedożywienia występuje powolny spadek spoczynkowej przemiany materii. W okresach podaży pożywienia o znacznie zawyżonej wartości energetycznej obserwowano w niektórych badaniach wzrost spoczynkowej przemiany rzędu 10–15%.

Wysokość PPM obniża się z wiekiem. Po urodzeniu ma wartość około 34 kcal/kg/dobę, a następnie spada i osiąga wartość około 15 kcal/kg/dobę po zakończeniu wzrastania, to jest w przybliżeniu w wieku 18 lat. U dorosłych ludzi spadek PPM wynosi około 2% na każde 10 lat życia. Różnice te są ujęte w równaniach regresji, stosowanych przy szacowaniu PPM (tab. 3).

Ogólna dobowa przemiana materii

Termogeneza po posiłkach

Wydatek energetyczny organizmu podnosi się po spożyciu pokarmu ponad aktualnie występujący poziom przemiany materii (przy tych samych warunkach prowadzonego pomiaru); największa różnica występuje około 3 godziny po posiłku. Uważa się obecnie, że przyczyny tego wzrostu są złożone i jeszcze niedostatecznie wyjaśnione. Zjawisko to określa się obecnie nazwą **termogeneza poposiłkowa** (*Dietary Induced Thermogenesis* – DIT). Obejmuje ona potrzeby energetyczne trawienia, wchłaniania, transportu i przemian spożytych składników pokarmowych. Przy ustabilizowanym całodobowym żywieniu około 10% dobowych wydatków energetycznych wiąże się z poposiłkowym wzrostem wydatku energetycznego. Składają się na nią 2–4% wartości energetycznej spożytego tłuszczu, 4–7% wartości węglowodanów i 18–25% wartości spożytych białek. Posiłki zrównoważone pod względem składu dają niższy efekt cieplny niż wartość wyliczona według proporcji spożytych składników. Termogeneza poposiłkowa jest również niższa po posiłku porannym (po nocnej przerwie), a także w przypadkach żywienia przez dłuższy czas poniżej poziomu zapotrzebowania energetycznego.

Wydatki energetyczne związane z aktywnością fizyczną

Ogólny wydatek energetyczny związany z aktywnością fizyczną najwyraźniej wpływa na wysokość ogólnej dobowej przemiany materii. Określa się go doświadczalnie najczęściej przy zastosowaniu metodyki kalorymetrii pośredniej, a u dzieci także na

podstawie szybkości akcji serca. Wyznacza się sumę energii wydatkowanej na procesy przemiany podstawowej i aktywność fizyczną, a u ludzi spożywających posiłki dochodzi również składowa termogenezy poposiłkowej. Wysokość wydatku energetycznego przy różnych czynnościach zależy głównie od pracy układu mięśniowego (ilości mięśni w stanie napięcia lub wykonujących skurcze), a także, w pewnym stopniu od wzrostu aktywności innych narządów.

Z uwagi na mechanizację wielu czynności, obniżając wysiłek fizyczny człowieka, ulegają obecnie obniżeniu różnice wydatku energetycznego w czasie pracy w różnych zawodach. Pojawiają się natomiast większe różnice w codziennej aktywności podczas wypoczynku w związku z narastającą dbałością o aktywność fizyczną, ważną dla zachowania zdrowia.

Wysokość dobowych wydatków energetycznych przy różnych czynnościach określa się na jednostkę masy ciała (kg) i jednostkę czasu, jako wartość średnią dla badanej grupy osób w podobnym wieku i płci (tab. 4).

Tabela 4

Średnie wydatki energetyczne (kcal na minutę) w czasie niektórych czynności dla grup ludzi wybranych wg płci, wieku i ciężaru ciała badanych (wg Durnina i Passmore'a 1967 i FAO/WHO 1973)

Wiek	Dorośli 20–30 lat		Młodzież 14 lat		Dzieci 9–11 lat	
Płeć	mężczyźni	kobiety	chłopcy	dziewczynki	chłopcy	dziewczynki
Ciężar ciała kg	65	55	51	52	29–35	25–35
Czynności:						
leżenie i wypoczynek, sen	1,08	0,9	1,04	0,99	0,80	0,75
siedzenie w spokoju	1,39	1,15	–	–	–	–
siedzenie – praca	1,8 **	1,6 **	1,47 *	1,27 *	0,9 *	1,12 *
lekka praca domowa	3,1	2,5	–	–	–	–
sprzątanie pokoju	–	–	2,8	2,8	–	–
chodzenie 4 km/godz	3,4	2,6	–	–	–	–
spacer	–	–	4,4	3,7	3,0	2,0

Zgodnie sugestią WHO (1985) wydatek energetyczny można również podać jako wielokrotność podstawowej przemiany materii. Wartość ta jest nazywana **współczynnikiem aktywności**. Przybliżone wartości współczynników aktywności dla różnych czynności mężczyzn i kobiet o przeciętnej budowie przedstawia tabela 5.

Tabela 5

Przybliżone wartości wydatków energetycznych w stosunku do spoczynkowej przemiany dla mężczyzn i kobiet

Rodzaj aktywności	SPM w jednostce czasu	
	Dane przykładowe	X współczynnik aktywności
Wypoczynek	sen, leżenie	SPM x 1,0
Mała aktywność	czynności w pozycji siedzącej, pisanie, szycie, praca laboratoryjna, prowadzenie pojazdu, malowanie, gotowanie, gra w karty, gra na instrumentach, prasowanie	SPM x 1,5
Lekki wysiłek	chodzenie po płaskim terenie 4–5 km/godz., mechanika samochodowa, handel aparatami elektrycznymi, dywanami, praca w restauracji, sprzątanie domu, opieka nad dziećmi, gra w golf, ping-pong	SPM x 2,5
Umiarkowany wysiłek	chodzenie 5,5–6,5 km/godz., pielienie i okopywanie, noszenie ciężarów, jazda na rowerze, jazda na nartach, tenis, taniec	SPM x 5,0
Ciężki wysiłek	wchodzenie z ciężarem pod górę, wyrąb drzew, ciężkie ręczne wykopy, koszykówka, futbol, wspinaczka	SPM x 7,0

Dane wg Durnina i Passmora (1967) oraz WHO (1985). Wybór *Recommended Dietary Allowances* (1990).

Ocena dobowego wydatku energetycznego wymaga określenia czasu wykonywania poszczególnych czynności (chronometraż czynności) oraz określenia średniego współczynnika aktywności dla całej doby.

Wyznaczanie dobowego wydatku energetycznego przebiega według przykładu podanego w tabeli 6.

Tabela 6

Dienny wydatek energetyczny mężczyzny wykonującego umiarkowanie ciężką pracę fizyczną: wiek 35 lat, masa ciała 65 kg, wysokość 172 cm, obliczona PPM 68 kcal na godzinę

Czynności	Współczynnik aktywności (AF)	czas (godziny)	kcal
Sen	1 x PPM	8	544
Aktywność zawodowa	3 x PPM	8	1632
Aktywność pozazawodowa	2,5 x PPM	2	340
Zajęcia domowe	1,5 x PPM	6	571
Razem ogólny dobowy wydatek energetyczny		24	3087

* Średnia ważona dla czynności w pracy.

Średnia aktywność całego dnia = $(AF\ 1 \times 8) + (AF\ 3 \times 8) + (AF\ 2,5 \times 2) + (AF\ 1,5 \times 6) = 45,4 : 24 = 1,892$

Wartości podane w tabelach pozwalają na określenie przybliżonego indywidualnego wydatku energetycznego dla poszczególnych osób, związanego z aktywnością fi-

zyczną. Potrzeba wyliczeń dotyczy przypadków konieczności indywidualnej żywieniowej porady, zwłaszcza w warunkach zmieniającego się trybu życia połączonego ze zmianą aktywności fizycznej.

Czynniki ogólnej dobowej przemiany materii

Na ogólną dobową przemianę materii składają się wydatki energetyczne podstawowej przemiany materii, termogeneza poposiłkowa i termogeneza związana z aktywnością fizyczną. Elementy ogólnej dobowej przemiany materii są z sobą ściśle powiązane. Zmiany jednej ze składowych wpływają na poziom pozostałych.

Dobowy wydatek energetyczny podaje równocześnie wartość energetyczną całodziennego pożywienia, którego spożycie zapewni uzyskanie pożądanego bilansu energetycznego – jest to **wartość zapotrzebowania energetycznego**.

Do czynników wpływających na różnice dobowego zapotrzebowania energetycznego, wyrażonego na kilogram masy ciała należy:

Wiek

Znaczną część beztłuszczowej masy ciała dzieci stanowią narządy wewnętrzne o dużej aktywności metabolicznej, co podnosi **poziom PPM**. Dzieci odznaczają się również wysoką **aktywnością fizyczną**, tak że średni dobowy współczynnik aktywności wynosi 1,7–2,0 x PPM. **Proces wzrastania**, z wyjątkiem grupy niemowląt odpowiada za około 1% wzrostu całkowitego zapotrzebowania energetycznego (około 5 kcal/g przyrostu masy ciała).

W grupie ludzi dorosłych stopniowo obniża się beztłuszczowa masa ciała (około 2–3% na dekadę). Proces ten dotyczy głównie ilości masy mięśniowej. Obniża się również aktywność fizyczna, szczególnie po ukończeniu 75. roku życia, tak że określony współczynnik dobowej aktywności fizycznej wynosi 1,45–1,5.

Płeć

Różnice w składzie ciała, nieznaczne w pierwszych dziesięciu latach, stają się wyraźne w okresie pokwitania. Większa masa mięśniowa mężczyzny powoduje, że różnica w wysokości spoczynkowego wydatku energetycznego dla obu płci wynosi około 10%. Dalsze różnice, wiążą się z pracą mężczyzny, częściej połączoną z większym wysiłkiem fizycznym.

Specjalne obciążenie metaboliczne kobiet w okresie ciąży jest związane ze wzrostem dodatkowych tkanek łożyska i płodu. Przyrost masy ciała w tym okresie o 12,5 kg, przy ciężarze urodzonego dziecka 3,3 kg, powoduje całkowity koszt energetyczny oceniony na 80 000 kcal. W stosunku do tej wartości, dzieląc podany koszt energetyczny ciąży przez około 250 dni czasu trwania ciąży, oceniono zapotrzebowanie energetyczne kobiet w tym okresie na dodatkowe 300 kcal/dobę. Dla oceny potrzeb energetycznych w okresie laktacji przyjęto, że kobieta, karmiąc piersią, zużywa głównie w pierwszych miesiącach odłożony w ciąży zapas tłuszczu, a wydzielane mleko ma wartość 70 kcal na 100 ml; na podstawie tych danych oceniono, że ilość energii pozwalająca na uzyskanie dostatecznej ilości pokarmu wymaga dodatku pożywienia o wartości 500 kcal.

Masa ciała

Osoby o wyższej masie ciała wykazują wyższą spoczynkową przemianę materii i proporcjonalnie do masy ciała wyższy koszt energetyczny wysiłku fizycznego. Dlatego ciężar ciała jest istotny dla oceny wydatków energetycznych i dobowego zapotrzebowania energetycznego. Dla osób otyłych lub wyraźnie niedożywionych wartość energetyczną pożywienia powinno się ustalać według ciężaru należnego przy danej wysokości ciała.

Warunki klimatyczne

Ogrzewanie i klimatyzacja pomieszczeń także w warunkach pracy powodują obniżenie wpływu warunków klimatu zewnętrznego na organizm.

Praca w temperaturze powietrza poniżej 14°C zwiększa wydatek energetyczny przy jej wykonywaniu o około 14%, a dodatkowe 2% – ciężar ubrania i obuwia. Również przy oziębieniu ciała i drżeniu z zimna wydatek energetyczny wzrasta.

U osób wykonujących ciężką pracę w wysokiej temperaturze otoczenia (37°C lub wyższej) wydatek energetyczny wzrasta w związku z mechanizmem utrzymania stałej temperatury ciała w warunkach gorąca.

4. SKŁADNIKI POŻYWIENIA I ICH ROLA W ORGANIZMIE CZŁOWIEKA

Rola składników pożywienia w przemianie materii

Składniki pożywienia wprowadzane do organizmu człowieka doustnie przechodzą do przewodu pokarmowego, w którym podlegają w swej głównej masie procesowi trawienia; składniki, które nie podlegają trawieniu, są wydalane razem z traconymi tą drogą enzymami trawiennymi i złuszczone nabolonkiem przewodu pokarmowego. Stopień skuteczności procesu trawienia jest różny dla poszczególnych składników pokarmowych; zależy on od:

- chemicznej budowy składnika;
- liczby procesów przemian doprowadzających go do postaci podlegającej wchłanianiu;
- powierzchni jelita zaangażowanej w proces wchłaniania;
- interakcji między składnikami pokarmowymi zawartymi w posiłku a szczególnie obecności i ilości substancji niestrawnych.

Na tempo procesów wchłaniania wpływają również zabiegi kulinarne. Strawność określa się w przypadku składników pokarmowych, które po działaniu enzymów trawiennych dochodzą do postaci związku podlegającego wchłanianiu, a także dla całości racji pokarmowej (tzw. strawność suchej masy). **Współczynnik strawności jest to procentowy stosunek strawionej i wchłoniętej ilości składnika odżywczego do ilości tego składnika spożytego z pokarmem.**

W przypadku niepodlegających trawieniu witamin i składników mineralnych przyjęto określenie **biodostępność**.

Pochodzące z artykułów spożywczych składniki chemiczne dostarczają substratu dla przemian energetycznych oraz dla budowy tkanek organizmu i wewnątrzustrojowych związków, które regulują przemianę materii i inne funkcje życiowe organizmu.

W procesach spalania w największym stopniu jest wykorzystywana glukoza pochodząca z węglowodanów, kolejno ilościowo kwasy tłuszczowe i glicerol pochodzące z tłuszczu; źródłem energii są też aminokwasy, które nie zostały wykorzystane jako materiał budulcowy. Witaminy i składniki mineralne spełniają funkcję koenzymów w enzymach katalizujących te procesy.

Materiał budulcowy tkanek oraz regulatorów metabolizmu i funkcji organizmu człowieka pochodzi więc z wszystkich grup składników pokarmowych. Niektórych związków organizm nie może wytworzyć: nazywamy je **egzogennymi lub niezbędnymi składnikami pokarmu**.

5. BIAŁKA

Białka są podstawowymi elementami budulcowymi struktur każdej żywej komórki i substancji regulujących przebieg metabolizmu komórkowego. W przemianie materii organizmów heterotroficznych zachodzi stały rozpad i odbudowa białek ustrojowych, przez co gospodarka białkowa wiąże się z przemianami energetycznymi, a zużywane białko pokarmowe dostarcza w ogólnym bilansie określoną ilość energii. Ponadto efektywne wykorzystanie białka pokarmu wymaga pełnego pokrycia potrzeb energetycznych organizmu. Ten związek metaboliczny powoduje że pokarmową rolę białek wiąże się z problemami bilansu energetycznego organizmów żywych.

Białka są poliamidami o wysokiej masie cząsteczkowej. Podstawowymi elementami struktury białka jest 20 alfa-aminokwasów, z których 18 ma znaczenie jako składniki odżywcze w żywieniu człowieka. W organizmach zwierzęcych występuje jeszcze kilkanaście alfa-aminokwasów oraz nie-alfa-aminokwasy, które nie są składnikami białek, ale związkami pośrednimi w ich przemianach lub spełniają swoje funkcje w przemianie materii. Określona grupa aminokwasów może być wytwarzana w organizmie człowieka z glukozy i poprzez cykl kwasu cytrynowego z kwasów organicznych w drodze transaminacji, albo z wolnych aminokwasów przez transaminację lub redukcijną aminację. W przypadku niektórych aminokwasów brak jest możliwości ich wytwarzania w organizmie, dlatego są one nazywane **egzogennymi lub niezbędnymi**. Aminokwasy arginina i histydyna, produkowane w organizmie dorosłych ludzi, są uważane za niezbędne w okresie niemowlęcym. Tyrozynę może ustrój wytwarzać z fenyloalaniny, cystynę zaś z metioniny. Aminokwasy te uważa się za **względnie niezbędne**.

Podstawą do wyróżnienia kilku chemicznych grup aminokwasów są cechy budowy chemicznej cząsteczek, a szczególnie ich bocznego łańcucha (tab. 7).

Tabela 7

L-aminokwasy występujące w żywności

Rodnik boczny	Nazwa aminokwasu i jej skrót
Alifatyczny	Glicyna (Gly), Alanina (Ala)
„Rozgałęziony”	<i>Leucyna (Leu), Isoleucyna (Ile), Walina (Val)</i>
Z grupą hydroksylową	Seryna (Ser), Treonina (Tre)
Kwaśny	Kwas glutaminowy (Glu) *, Kwas asparaginowy (Asp) *
Zasadowy	<i>Lizyna (Liz), Arginina (Arg), Histydyna (His)</i>
Aromatyczny	<i>Fenylalanina (Fen), Tyrozyna (Tyr), Tryptofan (Trp)</i>
Siarkowy	<i>Metionina (Met), Cysteina (Cys) **</i>
Cykliczny	Prolina (Pro) ***

* Występują też amidy: asparagina (Asn) i glutamina (Gln).

** Cysteina występuje też jako dimer cystyna.

*** Prolina jest iminokwasem.

Kursywą wyróżniono aminokwasy niezbędne.

Poza podstawowym wykorzystaniem w budowie białka, aminokwasy podlegają przebudowie na związki azotowe o istotnym znaczeniu dla przemiany materii i funkcji ustrojowych:

- **glicyna, kwas asparaginowy** i donator grup metylowych – **metionina** są związkami wyjściowymi dla endogennych **zasad purynowych i pirymidynowych**, które wchodzi w skład cząsteczki kwasów nukleinowych;
- **tryptofan** ulega przemianie na **aminy biogenne** centralnego układu nerwowego, w tym na **serotoninę**; niewielka część tryptofanu (1/60) ulega przemianie na **niacynę**;
- **tyrozyna** jest prekursorem dla hormonów: **adrenaliny i noradrenaliny oraz tyroksyny**.

Białkami jest wiele hormonów, wśród nich: glukagon, insulina, insulinopodobne czynniki wzrostowe 1 i 2, hormon wzrostu.

Białkami są również izoenzymy, które mogą katalizować tę samą reakcję, lecz z różną wydajnością. Wzorzec cząsteczki enzymu determinują izoenzymy, które z kolei są determinowane przez wzorzec genetyczny. Zestaw izoenzymów decyduje o indywidualnych cechach metabolizmu.

Aktywność enzymów zbudowanych wyłącznie z białka zależy od chemicznych właściwości funkcjonalnych, które z kolei zależą od bocznych łańcuchów dziewięciu aminokwasów:

- imidazolowego pierścienia histydyny;
- grupy karboksylowej glutaminianów i asparaginianów;
- grupy hydroksylowej seryny, treoniny i tyrozyny;
- aminowych grup lizyny;
- guanidynowych grup argininy;
- sulfhydrylowych grup cysteiny.

Grupy te działają jako zasady i kwasy oraz katalizują przenoszenie protonów i reakcje przenoszenia grup funkcyjnych. Metale takie jak: kobalt, żelazo, mangan, miedź

cynk i molibden działają jako kofaktory w reakcjach enzymatycznych. Są one miejscem dodatniego ładunku, współdziałają z dwoma albo więcej ligandami (małe cząsteczki, które wiążą się z białkiem).

Budowa cząsteczki białka jest złożona. Znaczna liczba aminokwasów, które są cegiełkami budulcowymi białka, stwarza możliwość różnej kolejności połączeń i różnej długości łańcucha w drobinie białka. Liczba i sekwencja aminokwasów determinuje pierwszorzędową strukturę białka. Drugorzędowa struktura wynika z obecności wewnątrzcząsteczkowych wiązań wodorowych, które zapewniają przestrzenny układ łańcucha aminokwasów. Strukturę trzeciorzędową warunkuje układ wiązań dwusiarczkowych, który nadaje ostateczny format cząsteczce białka. Czwartorzędowa struktura występuje w białkach, które są kompleksami więcej niż jednego łańcucha polipeptydowego; występują przy tym różne alternatywne układy struktury czwartorzędowej, które nadają białku różne biologiczne właściwości istotne dla ich roli w procesach metabolicznych i relacji genetycznej.

Białka zbudowane wyłącznie z aminokwasów tworzą grupę białek prostych. Białka, których cząsteczki zawierają też związki inne niż aminokwasy, zalicza się do białek złożonych.

Białka proste występujące w tkankach roślinnych i zwierzęcych to:

- **albuminy** (rozpuszczalne w wodzie i w roztworach soli);
- **globuliny** (rozpuszczalne tylko w roztworach soli).

Zawierają one pełny zestaw niezbędnych aminokwasów o korzystnych proporcjach dla pokrycia potrzeb białkowych człowieka.

W białkach podporowych i ochraniających zwierząt występują **skleroproteiny**, nierozpuszczalne w wodzie i słabych kwasach i zasadach. Należą do nich:

- a) keratyny, występujące we włosach i naskórku (też w piórach, rogach, kopytach); nie są trawione w przewodzie pokarmowym człowieka; hydrolizowane w warunkach laboratoryjnych służą do wyrobu bulionów;
- b) elastyna, występująca w ścięgnach i ścianach tętnic, nie jest trawiona także po gotowaniu;
- c) kolagen jest białkiem strukturalnym tkanki łącznej właściwej, chrzęstnej i kostnej; po ugotowaniu przechodzi w żelatynę i jest trawiony.

Białkami o stosunkowo małej cząsteczce są **histony** (rozpuszczalne w wodzie i rozcieńczonych roztworach kwasów), które występują głównie w jądrach komórek roślinnych i zwierzęcych w połączeniu z kwasami nukleinowymi.

Do białek występujących wyłącznie w produktach roślinnych należą:

- **gluteliny** (rozpuszczalne w rozcieńczonych zasadach);
- **prolaminy** (gliadyny – rozpuszczalne w alkoholu).

W produktach zbożowych gluteliny i prolaminy tworzą kompleksy zwane glutenem, od którego zależą wartości wypiekowe mąki.

Białka złożone tworzą kilka grup związków, których własności zależą również od charakteru części grupy niebiałkowej. Należą tu **nukleoproteidy, fosfoproteidy, metaloproteidy, chromoproteidy, glikoproteidy** oraz **lipoproteidy**.

W pożywieniu występują równocześnie białka o różnym typie budowy chemicznej oraz zestawach aminokwasów typowych dla poszczególnych produktów spożywczych. Białka te ulegają w przewodzie pokarmowym człowieka rozkładowi pod wpływem

endopeptydaz w żołądku i jelicie cienkim do oligopeptydów oraz trój- i dwupeptydów, a następnie przy udziale egzopeptydaz do aminokwasów.

Wchłanianie produktów trawienia białka ze światła jelita zachodzi głównie na poziomie małych peptydów i aminokwasów. Hydroliza drobnych peptydów zachodzi pod wpływem peptydaz występujących na powierzchni wchłaniania jelitowego. Do komórek jelita wchłaniają się peptydy i aminokwasy dzięki licznym mechanizmom charakterystycznym dla obu typów związków; wchłonięte peptydy ulegają tam dalszemu rozkładowi. W bardzo małych ilościach wchłaniają się również cząsteczki białka, co ma znaczenie dla produkcji immunoglobulin IgA oraz IgG, i powstawania lokalnej odporności jelita cienkiego. Zjawisko to, występujące w niedojrzałych organizmach (noworodki, zwłaszcza wcześniaki), może być także przyczyną powstawania alergii i nietolerancji pokarmowych.

Poza białkami pożywienia ulegają trawieniu również białka wydzielane do przewodu pokarmowego jako składniki sekrecji jelitowej oraz złuszczone nabłonki. Azot wykrywany w kale stanowi około 10% azotu pożywienia, a ogólna przeciętna strawność białka wynosi 90%.

Aminokwasy przechodzące do żyły wrotnej mieszają się z aminokwasami krążącymi we krwi, które pochodzą z obligatoryjnej wymiany budulca komórkowego. Źródło aminokwasu nie jest rozpoznawane przy wyborze aminokwasów do celów syntez komórkowych.

W komórkach błony śluzowej jelita występuje duża aktywność syntez białkowych, które produkują substancje wykorzystywane dla odbudowy elementów komórkowych, produkcji enzymów i śluzu oraz syntezy *alipoprotein* niezbędnych dla wytwarzania chylomikronu.

W tkankach organizmu zachodzą stałe procesy syntezy i rozkładu białka, przy czym ilość aminokwasów biorących udział w przemianach przekracza ilość wprowadzoną z pożywieniem, ponieważ do puli wolnych aminokwasów włączają się aminokwasy uwolnione w przemianach komórkowych. Produkty przemian aminokwasów są wydalone z organizmu (kreatynina, mocznik, kwas moczowy i inne związki azotowe). Proporcje związków białkowych wydalanych z organizmu ulegają zmianie przy zaniżonej podaży białka w dobowej racji pokarmowej lub w okresach głodu.

Porównanie ilości związków azotowych zawartych w pokarmie i wydalonych z organizmu daje wartość bilansu azotowego, który zgodnie z zaleceniami WHO (1985) jest podstawowym wskaźnikiem przy ocenie zapotrzebowania białkowego u dorosłych ludzi. W okresie wzrastania, poza koniecznością uzyskiwania dodatniego bilansu azotowego wskaźnikami pokrycia zapotrzebowania na białko jest przebieg procesu wzrastania oraz proporcje elementów budowy ciała (beztłuszczowa i tłuszczowa masa ciała, woda ustrojowa). Niedobór białka występuje przeważnie równocześnie z niedoborem energetycznym oraz innych składników pożywienia jako skutek zaniżonego spożycia pożywienia.

W przypadkach podawania pożywienia o niskiej zawartości białka (np. przy znacznej zawyżonej ilości sacharozy lub czystej skrobi oraz tłuszczu) występuje spadek apetytu, którego następstwem jest ostatecznie niedobór białkowo-energetyczny.

Zapotrzebowanie na aminokwasy

Zaniżona podaż pojedynczego aminokwasu egzogenne prowadzi do obniżenia białkowych syntez w ustroju, a w konsekwencji obniża możliwość wykorzystania innych aminokwasów, obecnych w pożywieniu i prowadzi do ujemnego bilansu azotowego.

Badania zapotrzebowania na aminokwasy egzogenne i względnie egzogenne prowadzono intensywnie od początku drugiej połowy XX wieku. W przypadku badań w grupach niemowląt, podstawą oceny zapotrzebowania był proces wzrastania; natomiast w przypadku dzieci i osób dorosłych uznano, że wystarczającym wskaźnikiem zapotrzebowania na wymienione aminokwasy jest bilans azotowy: dodatni u dzieci, a zrównoważony u dorosłych. Wyniki badań zapotrzebowania na poszczególne aminokwasy przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8

Dobowe zapotrzebowanie na aminokwasy

Aminokwasy	Zapotrzebowanie mg/kg m.c./dobę dla grup:			
	Niemowlęta 3–4 mies.	Dzieci 2 lata	Dzieci 10–12 lat	Dorośli
Histydyna	28	?	?	8–12
Izoleucyna	70	31	28	10
Leucyna	161	73	42	14
Lizyna	103	64	44	12
Metionina + cystyna	58	27	22	13
Fenylalanina + tyrozyna	125	60	22	14
Treonina	87	37	28	7
Tryptofan	17	12,2	3,5	3,5
Walina	93	38	25	10

Według danych WHO 1985.

Przedstawione wyniki podlegają jeszcze dalszym doświadczalnym sprawdzianom, szczególnie w stosunku do ludzi dorosłych i ludzi starszych.

Pojęcie wartości odżywczej białka

W badaniach bilansowych zaobserwowano już w początkach XX wieku, że przy podaży tej samej ilości białka pochodzącego z produktów roślinnych lub zwierzęcych obserwuje się różną retencję azotu w organizmie. Równocześnie wykazano w badaniach doświadczalnych na rosnących zwierzętach, że takie same ilości białka różnego pochodzenia dają różne przyrosty masy ciała, co określono terminem **wartości wzrostowej białka**, a oznaczoną wartością skrótem **PER (Protein Efficiency Ratio)**.

Nowszym miernikiem wartości budulcowej białka jest doświadczalna ocena **współczynnika przyrostu tkankowego białka (wykorzystanie białka netto NPU – *Nett Protein Utilisation*)**. Uwzględnia on stopień strawności białek oraz wartość biologiczną całego zestawu aminokwasów w spożywanym pokarmie (NPU = wartość biologiczna białka x stopień strawności). Przyczyną różnicy wykorzystania białek w praktycznym żywieniu okazał się przede wszystkim ich skład aminokwasowy w zakresie aminokwasów egzogennych.

Tabela 9

Niezbędne aminokwasy w wybranych produktach spożywczych, w białku wzorcowym i mieszanych dobowych racjach pokarmowych (wg WHO 1985). Aminokwasy w mg na gram białka danego produktu

Aminokwas	Mleko kobyce	jajo kurze	mleko krowie	wołowina	dobowa racja		Wzorzec***
					1–3 lat*	Ogólna**	
Histydyna	26	27	27	34			
Izoleucyna	40	54	47	48	54	52	28
Leucyna	93	86	95	81	80	77	66
Lizyna	66	70	78	89	70	68	58
Metionina + cysteina	42	57	35	40	35	35	25
Fenylalanina + tyrozyna	72	93	102	80	81	78	63
Treonina	43	47	44	46	49	39	34
Tryptofan	17	17	14	12	12	12	11
Walina	55	66	64	50	57	54	35
Razem bez histydyny	434	490	477	445	429	415	

* Na 1g białka przeciętnej racji pokarmowej dzieci w wieku 1–3 lat.

** Na 1g białka przeciętnej racji pokarmowej dorosłych.

*** Aminokwasy białka wzorcowego według WHO, 1985.

Chemiczny wskaźnik wartości odżywczej białka

W badaniach doświadczalnych wykazano, że z naturalnych produktów spożywczych najwyższą retencję azotu wykazuje mieszanina białek (a więc i zestaw aminokwasów) w całym jaju kurzym, a w organizmie młodych ssaków mleko matki (samicy tego samego gatunku). Skład aminokwasowy wymienionych białek stał się punktem wyjścia dla badań nad zapotrzebowaniem na aminokwasy.

Dane o ilości aminokwasów w artykułach żywnościowych umożliwiły doświadczalne wyróżnienie produktów, które po spożyciu pozwalają uzyskać wyrównany bilans azotowy przy najniższej podaży. Na tej podstawie opracowano teoretyczny wzo-

rzec zestawu i proporcji aminokwasów egzogennych (tab. 9) zawartych w 1 gramie białka produktów, które przy najniższej podaży wykazują najlepsze pokrycie potrzeb białkowych ludzkiego organizmu. **Porównanie** ilości kolejnych aminokwasów w 1 gramie białka produktu (lub w jednym gramie białka zestawu pokarmowego) z ilością tego samego aminokwasu w białku wzorcowym pozwala na liczbowe określenie proporcji wykorzystania białka w organizmie. Bierze się pod uwagę aminokwas występujący w najniższej ilości w stosunku do białka wzorcowego (**aminokwas ograniczający wykorzystanie**) i wylicza wskaźnik aminokwasu ograniczającego WAO (*Protein Score* – PS, *Chemical Score* – CS) według wzoru:

$$\text{WAO} = \frac{\text{zawartościach poszczególnych niezbędnych aminokwasów w białku pożywienia (mg/g białka)}}{\text{zawartość tego samego aminokwasu w białku wzorcowym (mg/g białka)}}$$

Wskaźnik ten pozwala na ocenę ilościowego wykorzystania białka do celów budulcowych i oszacowanie bezpiecznej ilości białka w dobowej racji pokarmowej.

Pokrycie zapotrzebowania na aminokwasy egzogenne można uważać za wystarczające, jeżeli:

- 1) proporcje krążących aminokwasów odpowiadają bieżącym potrzebom syntez białkowych w organizmie;
- 2) w pożywieniu znalazły się aminokwasy egzogenne w ilościach odpowiadających fizjologicznemu zapotrzebowaniu organizmu;
- 3) została zachowana równowaga bilansu azotowego (w okresach wzrastania i odbudowy tkanek – bilans dodatni).

Ocena zapotrzebowania na białko

Dla pełnego pokrycia zapotrzebowania na białko pożywienie musi dostarczać równocześnie niezbędną ilość aminokwasów egzogennych oraz aminokwasy endogenne. Sumaryczna ilość dostarczanego azotu powinna:

- pokrywać potrzeby związane z zachowaniem substancji białkowych organizmu oraz zwiększaniem się ich ilości w okresie wzrastania, w tym u kobiet w okresie ciąży;
- uzupełniać straty azotu w związkach azotowych moczu, złuszczonego naskórka, włosów, paznokci, śluzu jamy nosowej i innych wydzielin.

Dla wyznaczania potrzeb azotu przeprowadzono liczne badania eksperymentalne. Stały się one podstawą wyliczeń zapotrzebowania na sumaryczną ilość azotu oraz jej przeliczenia na ilość białka wzorcowego dla grup osób w okresie wzrastania i w wieku dorosłym.

Tabela 10

Ocena zapotrzebowania białkowego u dzieci i młodzieży

Potrzeby związane ze wzrastaniem				Utrzymanie białka organizmu mg/kg/dobę	Całkowite potrzeby azotu mg/kg/dobę	Ilości białka wzorcowego g/kg/dobę	
Wiek	Przyrost azotu mg/kg/dobę	Przyrost azotu x 1,5 mg/kg/dobę	Przyrost azotu x 1,5 (wykorzystanie 70%) mg/kg/dobę			średnia	średnia + SD
Chłopcy i dziewczynki:							
Miesiące							
3–5,9	47	70	100	120	220	1,38	1,73
6–11,9	34	51	73	120	193	1,21	1,51
Lata							
1	16	25	36	119	155	0,97	1,21
5	9	13	19	116	135	0,84	1,05
9	8	12	17	111	128	0,80	1,00
Chłopcy							
12	9	13	19	108	127	0,79	0,98
17	3	5	7	103	110	0,69	0,86
Dziewczęta							
12	7	10	14	108	122	0,76	0,95
17	0	0	0	103	103	0,64	0,80

Wyniki badań indywidualnych w tej samej grupie fizjologicznej wykazują dużą zmienność osobniczą, dlatego ustalono, że za bezpieczną ilość białka dla grupy fizjologicznej przyjmuje się wartość średnią dla grupy powiększoną o dwa odchylenia standardowe. Ten tok postępowania jest stosowany przy ocenie zapotrzebowania na wszystkie budulcowe składniki pożywienia i zapewnia, że wyznaczona w ten sposób wartość pokryje zapotrzebowanie prawie całej badanej populacji (97%).

Na zmienność osobniczą gospodarki białkowej organizmu składają się nie tylko genetycznie uwarunkowane cechy metabolizmu, lecz również dodatkowe czynniki żywieniowe i środowiskowe, jak i stopień pokrycia zapotrzebowania energetycznego, wysiłek fizyczny oraz różne czynniki stresowe.

Prace nad weryfikacją danych co do bezpiecznej ilości białka w dobowej racji pokarmowej są stale kontynuowane i stanowią podstawę bieżącej korekty ustaleń; na przykład w porównaniu z danymi WHO z 1973 roku ustalono w 1985 (WHO) nieco wyższe wartości bezpiecznej ilości białka (tab. 11).

Tabela 11

Bezpieczny poziom spożycia białka wzorcowego dla wybranych grup ludności Komitet ekspertów FAO/WHO/UNU 1985* (dla porównania 1973 rok **) g białka na kg m.c. na dobę

Grupa ludności	chłopcy – mężczyźni		dziewczęta – kobiety	
Rok	1973	1985	1973	1985
Wiek – lata				
10–11	0,82	0,99	0,79	1,00
13–14	0,75	0,97	0,65	0,94
16–17	0,63	0,90	0,58	0,83
Dorośli	0,57	0,75	0,52	0,75

* Według Ziemiańskiego 2001.

Ustalona wartość bezpiecznego spożycia białka wzorcowego zapewnia pokrycie zapotrzebowania na aminokwasy egzogenne, ale równocześnie dotyczy także aminokwasów endogennych. Mogą być one wprowadzone syntetyzowane w organizmie, lecz przy ich niedoborze organizm zużywa elementy budulcowe aminokwasów egzogennych dla syntezy brakujących aminokwasów endogennych. Potrzeby w zakresie ilości aminokwasów endogennych należy mieć na uwadze przy zestawianiu mieszanek leczniczych dla żywienia dojelitowego lub przy wyborze gotowych przemysłowych mieszanek aminokwasowych, uzupełniających naturalny zestaw pokarmowy. Proporcja aminokwasów egzogennych do endogennych jest jednym ze wskaźników wartości odżywczej mieszaniny białek pokarmowych.

Zasady wyznaczania ogólnego zapotrzebowania na białko

Przy ustalaniu potrzeb metabolicznych organizmu człowieka na białko należy brać pod uwagę dane, które określają:

- 1) dobowe ilości wydalanego azotu ustrojowego, wskazujące na potrzeby wyrównania strat azotu, a w okresie wzrastania ilości azotu zatrzymanego w związku ze zwiększeniem masy nowych tkanek;
- 2) zapotrzebowanie organizmu na aminokwasy egzogenne;
- 3) wartość odżywczą mieszanych białek spożywanych zwyczajowo w dobowych racjach pokarmowych;
- 4) ogólną ilość białka w dobowej racji niezbędną dla wyrównania strat i pokrycia ewentualnych dodatkowych potrzeb w zakresie związków azotowych.

Poza badaniami doświadczalnymi, podstawą opracowania zaleceń co do wysokości spożycia białka jest jego rzeczywiste spożycie w populacji, wynik oznaczenia chemicznego wskaźnika wartości białek ($CS = WAO$) przeciętnej racji pokarmowej oraz jego strawności.

Badania sposobu odżywiania przeprowadzone w krajach rozwiniętych w różnych grupach ludności wskazują, że białka pokrywają wówczas 10–12% wartości energetycznej dobowej racji pokarmowej, a w grupach dzieci i młodzieży nawet do 15%. Ilość ta, przy zwyczajowych zestawach artykułów żywnościowych, zapewnia pokrycie

potrzeb na aminokwasy i azot, z wyjątkiem krańcowo niskiej wartości energetycznej dobowych racji.

Podobne wyniki dają badania przeprowadzone w Polsce, przy czym strawność białek wynosi około 90%. Na podstawie cytowanych danych ustalono dla warunków bytowych w Polsce WAO na 100%, a współczynniki strawności na 90% i wyznaczono bezpieczne i zalecane ilości białka w dobowej racji pokarmowej.